



**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Tecnología de la Industria**  
**Ingeniería Mecánica**

**Tema:**

**“Prueba de habilitación y adaptación de una cocina de gas licuado de petróleo (GLP), para su funcionamiento con biogás, producido por el biodigestor de tipo salchicha instalado en el costado sur del comedor de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-RUPAP)”**

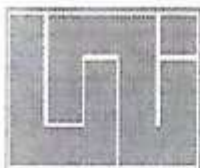
**AUTOR**

Br. Carlos José Izaba Umaña

**TUTOR**

Ing. María Teresa Castillo Rayo

**Managua, 31 de Julio del 2018**



*Líder en Ciencia y Tecnología*

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA**

**SECRETARÍA DE FACULTAD**

**F-8: CARTA DE EGRESADO**

El Suscrito Secretario de la **FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA** hace constar que:

**IZABÁ UMAÑA CARLOS JOSÉ**

Carné: 2005-20313 Turno **Diurno** Plan de Estudios 972A de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERÍA MECANICA**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y cinco días del mes de octubre del año dos mil diecisiete.

Atentamente,

Ing. Wilmer José Ramírez Velásquez  
Secretario de Facultad




Managua, 15 de febrero de 2018

Br. Carlos José Izaba Umaña

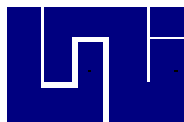
Por este medio hago constar que el protocolo de su trabajo monográfico titulado "Prueba de habilitación y adaptación de una cocina de gas licuado de petróleo (GLP), para su funcionamiento con biogás, producido por el biodigestor de tipo salchicha instalado en el costado sur del comedor de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-RUPAP)", para obtener el título de Ingeniero Mecánico y que contará con la MSc. María Teresa Castillo Rayo como tutor, ha sido aprobado por esta Decanatura.

Cordialmente,



  
**MBA. Daniel Cuadra Horney**  
**Decano**

C/c Archivo  
DCH/artt



Managua, martes 31 de julio del 2018

Ingeniero  
Msc. Lester Artola  
Decano Facultad Tecnología de la Industria  
FTI  
Sus Manos.

Apreciado Ingeniero Artola, reciba un cordial saludo de mi parte.

Por este medio me dirijo a usted, para notificarle que he revisado el documento y este cumple con los requerimientos técnicos establecidos por la facultad, remitiendo así el trabajo de Investigación monográfica titulada:

**“Prueba de habilitación y adaptación de una cocina de gas licuado de petróleo (GLP), para su funcionamiento con biogás, producido por el biodigestor de tipo salchicha instalado en el costado sur del comedor de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-RUPAP)”**

Elaborado por el Bachiller:

**Br. Carlos José Izaba Umaña**

**n° Carnet 2005-20313.**

Agradeciendo su amable atención a la presente, me despido deseando éxito en sus labores.

Atentamente:

---

**Ing. María Teresa Castillo Rayo**  
Especialista en Energía Renovable

### **Dedicatoria**

A la Universidad Nacional de Ingeniería, Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (UNI-RUPAP) por ser una institución de estudios superiores pública por permitir estudiar en dicho centro tan prestigioso.

A la Facultad de Ciencias de la Industria, por guiar a sus estudiantes para lograr agilizar los trámites para la culminación de nuestra carrera.

Al Departamento de Investigación y Desarrollo por contar con un excelente equipo de docentes e implementar proyectos en los que desarrollen al estudiante de la carrera de Ingeniería Mecánica, para ejecutarlos por darnos todo su apoyo y sabiduría para la formación de los profesionales del futuro.

Principalmente a la Ing. María Teresa Castrillo Rayo por su apoyo y por su dedicación de querer enseñar cómo se hacen bien las cosas, sin ella no hubiera podido finalizar este trabajo monográfico.

A los Ing. Oscar Fuentes por asesorar en la parte de metodología y al Ing. Francisco Xavier Ampie por asesorar en la parte de estadística, al Dr. Jorge Rodríguez por asesorar en viabilidad técnica del proyecto en la cocina industrial. Gracias por su paciencia y por aclarar algunas dudas que surgieron acerca del tema.

Al equipo de trabajo del comedor especialmente a la encargada del área, por permitirnos estar en su ambiente laboral.

A mi madre Ruth Umaña Vargas por su apoyo incondicional, y por siempre tener un consejo sabio y de Dios para mí; a mi hermano Alcides Izaba Urroz por su apoyo y sus consejos llenos de madurez; a Valeria Reyes por motivar mi vida con su ejemplo, y mostrar su calidad humana y apoyo; a Krysthel Jarquín por facilitarme algunos medios, a todos mis familiares por su apoyo.

## **Resumen**

Como iniciativa de proyecto propuesto en el departamento de Investigación e innovación tecnológica de la Universidad Nacional de Ingeniería, se da la oportunidad de trabajar e investigar sobre el uso del biogas como fuente energética en una cocina en el comedor del Recinto Universitario Pedro Arauz Palacio (RUPAP) como alternativa amigable del ambiente, y aportar a reducir el consumo de gas licuado de petróleo. La idea surge a partir de la donación de la empresa TECNOSOL. S. A. de un biodigestor de  $12\text{m}^3$  que según dicha empresa, es capaz de producir  $3.60\text{m}^3$  de biogas, y cocinar con un solo quemador 7.5 horas y con dos 3.75 horas al día, el cual podría ser utilizado para realizar pruebas con diferentes equipos que puedan ser adaptados para trabajar con biogas.

Como objetivos se programó la habilitación de una cocina industrial descartada por su mal estado, realizar la adaptación para que dicha cocina funcione con biogás; cambiando de válvulas, quemadores u hornillas; colocar mangueras de suministro de gas; con el fin de realizar pruebas de Temperatura Final (TF) y Tiempo Final (TMF) para determinar si existe una significancia estadística con respecto a los tipos de combustibles como son el Biogas y al Gas Licuado de Petróleo, utilizando el método de dos factores con interacción.

## Contenido

Dedicatoria	
Resumen	
Contenido	
Introducción	
Antecedentes	
Justificación	
Objetivos	
Marco Teórico.....	23
1. Biogás.....	23
1.1. Generalidades del Biogás. ....	23
Tabla 1. Características generales del biogás. ....	24
1.2. Propiedades Físicas.....	25
Tabla 2. Propiedades Físicas del Biogas .....	26
Tabla 3. Valor calorífico.....	27
Tabla 4. Comparación calorífica de diferentes combustibles .....	28
Figura 1. Hidrocarburos Normales .....	29
Figura 2. Curva de temperatura de ebullición .....	31
Tabla 5. Punto de inflamación para algunos combustibles .....	32
Tabla 6. Límite de inflamabilidad LI de algunos combustibles .....	33
Tabla 7. Límite mínimo y máximo de inflamabilidad.....	34
1.3. Propiedades químicas.....	34
Tabla 8. Propiedades del biogas.....	35
2. Biodigestor instalado para obtención de biogás. ....	36
Tabla 9. Gasto de biogas en una cocina con un biodigestor de 12m <sup>3</sup> .....	36
2.1. Biodigestor continuo, tipo salchicha, familiares o de bajo costo.....	37
3. Prueba con biogás en la cocina industrial. ....	37
3.1. Estado y habilitación de cocina Industrial. ....	37
Figura 3. Cocina Industrial sin funcionar .....	38
3.2. Propuesta de habilitación.....	38
Paso 1 .....	38

Figura 4. Válvula de Cierre y Apertura Original .....	39
Paso 2.....	39
Figura 9. Acoplamiento quemador principal .....	40
Paso 3.....	40
Figura 10. Apertura de mayor diámetro en conector de mufa original .....	41
Figura 11. Diámetro acabado .....	41
Figura 12. Acoplamiento del quemador secundario .....	42
Paso 4. Conexión de los elementos cambiados.....	42
Figura 13. Acoplamiento de los elementos de manera física .....	42
Figura 14. Esmerilado conector de mufa original después de taladrarlo .....	43
Figura 15. Colocación de Válvulas en la cocina industrial.....	43
Figura 16. Instalación de Válvulas quemador secundario .....	44
Figura 17. Verificación de Distancia quemador secundario .....	44
3.3. Adaptación de cocina Industrial de GLP a Biogás. ....	45
Figura 18. Diseño Acabado Cocina Industrial .....	45
Figura 19. Filtro Ácido sulfhídrico .....	46
3.4. Pruebas.....	47
Figura 20. Descarte de fuga.....	48
Figura 21. Funcionamiento de quemadores.....	48
Figura 22. Quemador principal encendido .....	49
Figura 23. Ambos quemadores encendido usando biogas .....	49
3.5. Resultados. ....	50
Figura 24. Recipiente graduado .....	51
Figura 25. Pistola Laser para medir temperatura .....	52
Figura 26. Cocina encendida usando GLP.....	53
Figura 27. Olla utilizada para experimentos .....	53
Figura 28. Cocina encendida ambos quemadores con GLP .....	54
4. Análisis de los resultados. ....	54
4.1. Análisis con respecto a la Temperatura Final (TF) de ebullición de los Gases.....	54



Tabla 10. Tabla de factores del experimento con valores en Temperatura Final TF.....	55
Figura 29. Tabla ANOVA.....	56
Figura 30. Análisis de datos para Temperatura Final programa Statgraphics.....	57
Figura 31. Gráfico de Fisher para Temperatura Final programa Statgraphics .....	58
Figura 32. Curvas para análisis de Varianza.....	59
Figura 33. Modelo para diseño factorial .....	59
Figura 34. Tabla de $\beta$ (riesgo por selección de muestra) .....	60
4.2. Análisis con respecto a la Tiempo Final (TMF) de ebullición de los Gases.....	61
Tabla 11. Tabla de factores del experimento con valores en el Tiempo Final TMF .....	61
Figura 35. Análisis de datos para Tiempo Final programa Statgraphics .....	63
Figura 36. Gráfico de Fisher para Temperatura Final programa Statgraphics .....	64
Figura 37. Gráfico de interacción .....	64
Conclusiones .....	66
Bibliografía.....	67

## Introducción

El tema de la generación de energía alternativa en nuestro país sigue siendo de cierto modo un tema desconocido. En el año 2017 en el recinto Universitario Pedro Arauz Palacios UNI-RUPAP se instaló un biodigestor de Tipo Salchicha de 12m<sup>3</sup> que según la empresa TECNOSOL S. A. es capaz de producir: "3.60m<sup>3</sup> de biogas, y cocinar con un solo quemador 7.5hrs y con dos quemadores 3.75horas".

El biodigestor aportara unos 3.60m<sup>3</sup> de combustible alternativo, pero se necesita un equipo adecuado para que no solo se aproveche la producción de Biogas y Biol, con ello nace la idea de habilitar una cocina de Gas Licuado de Petróleo (GLP) que está dentro del comedor del recinto y se encuentra descartada por su mal estado, para que esta pueda trabajar con el combustible que produce este biodigestor, a base de la excretas de ganado vacuno.

El aporte energético que se brinda de lo que muchas veces se considera desechos o basura, dato importante según la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, IT-FAO-(2002), "El estiércol producido contiene materia orgánica, la cual bajo condiciones anaeróbicas se convierte en biogás que contiene metano y dióxido de carbono, los cuales son gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento global. El aporte en el sector agropecuario es de 30% en dichos efectos" (FAO, 2017).<sup>1</sup>

La habilitación de la cocina, encontrara componentes en mal estado, rescatara por mantenimiento y adaptación componentes para que la cocina funcione con este combustible alternativo (Biogás). Una de las Alternativas para la generación de biogás ha sido los diversos modelos de biodigestores existente a nivel mundial, siendo el Semi-Continuo o Tubular el más aceptado por su bajo costo en comparación con el resto de tipos de digestores anaeróbicos.

---

<sup>1</sup> Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM)

## **Antecedentes**

En Nicaragua se contempla el dato que la tecnología del biogás existe desde mediados del siglo XX. Se incluyen los programas como: Programa de Gobernabilidad y Desarrollo Local (GTZ) y el Servicio Holandés de Cooperación al Desarrollo (SNV), Programa de Fuentes Alternas de Energía de la UNI-RUSB, entre otras, que han ejecutado proyectos tanto privados como públicos, aunque se maneja poca información al respecto

En los años 90 el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP) participó junto a la cooperación alemana en la construcción de dos Biodigestores, uno de campana flotante y otro de cúpula fija. En el año 2010 se instaló el laboratorio de Biomasa en el que se construyeron y colocaron Biodigestores de tipo Batch los cuales son un tipo de Biodigestor discontinuo; tres de los biodigestores se instalaron a temperatura ambiente, y dos biodigestores en camisa de agua. En el mes de abril en el año 2017, se instaló un biodigestor semicontinuo tubular, conocido como tipo salchicha, el cual produjo biogás y biol a partir de su primera carga, surgiendo así la necesidad de habilitar y adaptar una cocina que pueda consumir dicho combustible.

El comedor del recinto universitario está ubicado en la parte trasera de la biblioteca, el cual consta con el equipamiento adecuado para elaboración de alimentos, en dicho lugar se encuentra una cocina industrial de dos quemadores u hornillas, la cual fue facilitada para la habilitación y adaptación ya que su funcionamiento de fábrica está ligado al uso de Gas Licuado de Petróleo (GLP) como combustible, además de estar desechada, se encuentra en mal estado; fue habilitada y adaptada para trabajar con biogás. En Nicaragua empresas como Tecnosol, ECAMI, Nica Sol, entre otras, distribuyen cocinas que trabajan con Biogás, no se tiene información de que exista una empresa que se encargue de la adaptación de cocinas de GLP para tal funcionamiento.

## **Justificación**

La experiencia de producción de biogás ha sido positiva en la Universidad Nacional de Ingeniería especialmente en el recinto Universitario Pedro Arauz Palacios UNI-RUPAP, pero el hecho de habilitar y adaptar una cocina GLP para que trabaje con biogás, fue el reto más importante, ya que el problema radicó en lograr que funcionará adecuadamente con sus respectivos cambios y adaptaciones. Ya que de esta manera se aprovecha correctamente la producción de dicho gas y se avanza un poco en la promoción de fuentes alternas de energía que brinde menor daño al medio ambiente.

Además de brindar el conocimiento técnico requerido para lograr habilitar una cocina industrial y adaptarla de GLP a BIOGAS, se obtiene un conocimiento práctico importante, se logra además tener una clara finalidad de consumo y aprovechamiento de la energía limpia que se está produciendo, ya que los resultados fueron positivos en la adaptación de la cocina y se trata de consumir el total del biogás generado, lo cual es un sustancial ahorro en otro tipo de fuentes energéticas como el gas Propano, y la leña disminuyendo la contaminación al medio circundante y se reducirán las enfermedades cardiopulmonares producidas por el uso de leña.

La habilitación y adaptación de la cocina industrial, aprovechara el gas producido por el digestor anaeróbico, además de brindarnos datos de variables resultados como lo son la Temperatura Final (TF) y el Tiempo Final (TMF), del funcionamiento dicha cocina nos arroja significancias estadísticas importantes con respecto al tipo de combustible que se usa en la cocina.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

1. Determinar la factibilidad para adaptar una cocina de Biogás a partir de una cocina de Gas Licuado de Petróleo (GLP).

### **Objetivos específicos**

1. Explicar los cambios realizados en el sistema de distribución del gas, quemadores de GLP a Biogás, válvulas de alimentación y cierre de combustible.
2. Analizar los datos obtenidos con respecto a la Temperatura Final (TF) a partir del uso del Biogás y del GLP, utilizando un método de 2 factores con interacción.
3. Analizar los datos obtenidos con respecto al Tiempo Final (TMF) a partir del uso del Biogás y del GLP, utilizando un método de 2 factores con interacción.

## Marco Teórico

### 1. Biogás.

#### 1.1. Generalidades del Biogás.

Se denomina biogás al gas que se obtiene a partir de la descomposición de desechos orgánicos, biomasa residual, cultivos energéticos, residuos sólidos urbanos, desechos de animales por vía anaeróbica (es decir, en ausencia de Oxígeno). Este proceso es desarrollado por bacterias que consumen el Oxígeno dentro del digestor ya que de él se alimentan, produciendo de esa forma el biogás.

La composición del biogás depende de dos factores, que son la tecnología del proceso y material para digestión, si esos factores están correctos se tendrá un tipo de biogás que puede contener de 50-70% de metano, de 30-45% de dióxido de carbono, el 5% de otros gases considerados impurezas “La degradación de materia orgánica por la ausencia de oxígeno produce  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$  y otros gases como subproducto, a esto se le denomina BIOGAS, que es una fuente energía renovable, conteniendo de 60 a 80% de  $\text{CH}_4$ ” (Roos, 2004) <sup>2</sup>

Entre algunas características del biogás se tiene poder calorífico 6-6.5 kwh/Nm<sup>3</sup>, temperatura de ignición de 650-750°C temperatura crítica de – 85 a 5°C se ilustra las principales características en la siguiente tabla.

---

<sup>2</sup> A manual for developing biogas

**Tabla 1. Características generales del biogás.**

Composición	55-70% metano CH <sub>4</sub> 30-45% dióxido de carbono CO <sub>2</sub> Otros gases
Contenido energético	6-6.5 kwh/Nm <sup>3</sup> Metros cúbicos normales (Nm <sup>3</sup> ):
Equivalente de combustible	0.60-0.65 Litros de petróleo/m <sup>3</sup> biogás
Límite de explosión	6-12% biogás en el aire
Temperatura de ignición	650-750°C (con el contenido de CH <sub>4</sub> mencionado)
Presión crítica	77-88 atm
Temperatura crítica	-85 a 5°C
Densidad normal	1.2kg m <sup>3</sup>
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás. Desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg / kmol

Fuente Manual de Biodigestores (Moreno, 2011)<sup>3</sup>

Los principales usos del biogás son cocción de alimentos, generación de energía eléctrica. En Nicaragua ya a partir del año 2017 se está tratando de implementar en motores de combustión interna, para trabajar como picadoras de pasto, generadores de gasolina, entre otros “Los digestores más pequeños de 6 a 10m<sup>3</sup> se promovieron en la década de 1970 y 1980 en Asia y América Latina, fueron diseñados para mejorar las condiciones sanitarias de los países en vía de desarrolló” (X., 2011).<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Manual de Biodigestores

<sup>4</sup> A Review of the Biogas Industry in China

“ En países como México, India y Angola se investigó sobre la quema del biogás llegando a concluir que deben de desarrollar estudios que le permitan diseñar quemadores para obtener mayor beneficio con el Biogás” (Lira, 2016)<sup>5</sup>

### **1.2. Propiedades Físicas.**

El propano posee un poder calorífico mayor que el del biogás; esto significa que, para obtener iguales rendimientos en aquellas aplicaciones en que se sustituya propano por biogás, es necesario usar mayores cantidades de este último.

No es posible licuar el biogás a la temperatura ambiente, lo que si se logra con el propano; esto representa una limitación para el almacenamiento de biogás. El propano, a la temperatura ambiente, se licua al comprimirlo a una presión de 7.73 kg/cm<sup>2</sup> (110 lb por pulgada cuadrada) y en forma líquida puede almacenarse en cantidades relativamente grandes en recipientes pequeños de acero; por el contrario, si se usaran los mismos recipientes y la misma presión, no se tendrían los mismos resultados para almacenar cantidades pequeñas de biogás.

Debido a que en el RUPAP no se cuenta con la tecnología para licuefacción de grandes cantidades de biogás y almacenarlas dentro de recipientes pequeños, hay que consumirlo según se va produciendo; por eso se aconseja construir el digestor lo más cerca posible de la cocina que se usara.

---

<sup>5</sup> Análisis de Eficiencia de combustión en un quemador Boliviano



**Tabla 2. Propiedades Físicas del Biogas**

Propiedades Física	Biogás
Formula	60% CH <sub>4</sub> 40% CO <sub>2</sub>
Peso Molecular	32.8
Punto de Fusión °c	-
Punto de Ebullición °c	-
Densidad g/L	1.22
Gravedad Especifica	0.86
Temperatura Critica °c	-
Presión Critica atm	-
Densidad Critica g/cm <sup>3</sup>	-
Poder Calorífico kcal/m <sup>3</sup>	5342
Aire requerido para combustión m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	8-10
Límite de flamabilidad m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	6-25
Valoración de octano	100
Temo. Ignición espontanea °c	814
Calor específico °c	-

Fuente: Biogás y Bioabono aplicaciones, pag.53 (Instituto Nacional de Investigacion y Tecnologia, 1985)<sup>6</sup>

### **1.2.1. Energía Calorífica.**

De los principales componentes del biogás, como lo son el metano y dióxido de carbono, podemos determinar su poder calorífico. Se conoce el poder calorífico del metano puro que es 9,000 Kcal/m<sup>3</sup> (9,000 x 0.6). Este poder Calorífico del biogás lo convierte en un buen combustible que se aprecia, tanto en aplicaciones domésticas (estufas, lámparas, refrigeración, etc.), como en aplicaciones industriales (calderas, motores, etc.).

---

<sup>6</sup> Instituto Nacional de Investigación y Tecnología  
[http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNABC661.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABC661.pdf)

**Tabla 3. Valor calorífico.**

Valor calorífico de diferentes combustibles	
Combustibles	Valor calorífico (kcal)
Biogás m <sup>3</sup>	5,432
Electricidad kWh	860
Keroseno Litros	9,100
Carbón kg	6,900
Leña kg	4,700
Butano kg	10,900
Estiércol Vacuno kg	2,100
Propano m <sup>3</sup>	22,052
Petróleo kg	11,357
Gasolina kg	10,138

Fuente: investigación y desarrollo de energía renovable (Larico, 2013)<sup>7</sup>

El poder calorífico es la capacidad que tiene un combustible de ceder calor cuando está ardiendo. Cuando existe una combustión se producen humos, siendo uno de estos el vapor de agua. Al condensarse este vapor de agua, o sea, pasa de vapor a agua, en la chimenea lo hace cediendo calor; al tenerse en cuenta este calor añadido al propio combustible se llama poder calorífico superior (P.C.S.), si no se considera este calor se llama poder calorífico inferior (P.C.I.) Éste último es el poder calorífico de todas las calderas habituales, excepto la de una nueva generación de calderas llamadas de condensación.

---

<sup>7</sup> COMBUSTIBLE BIOGAS A UN CALDERO DE GLP/GAS NATURAL

**Tabla 4. Comparación calorífica de diferentes combustibles**

combustible	Poder Calorífico Superior		
	kCal/kg	kCal/Nm <sup>3</sup>	kCal/l
Propano comercial	11.9		
Butano comercial	11.680		
Gas natural		10.500	
Gaseolo			9.185
Gas manufacturado		4.200	
Madera	3.000		

Fuente: investigación y desarrollo de energía renovable (Larico, 2013)<sup>8</sup>

La tabla compara el poder calorífico de algunos combustibles en relación al sistema de medición del volumen que ellos mismos ocupan.

### **1.2.2. Entalpia.**

Son hidrocarburos alifáticos que se dividen en alcanos, alquenos y Alquinos, estos en sus sustancia contienen cierta cantidad de energía que se representa en la termodinámica con la letra (H) en mayúscula, la variación de esta medida muestra la cantidad de energía atraída o cedida por un sistema termodinámico este fenómeno se denomina como entalpia.

---

<sup>8</sup> Comparación calorífica que presentan diferentes combustibles

**Figura 1. Hidrocarburos Normales**

<i>Hidrocarburos normales (cadena lineal)</i>					
Nº de carbonos	Fórmula	Nombre	Nº total de isómeros	p.eb. °C	p.f. °C
1	CH <sub>4</sub>	metano	1	-162	-183
2	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	etano	1	-89	-172
3	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	propano	1	-42	-187
4	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	butano	2	0	-138
5	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	pentano	3	36	-130
6	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	hexano	5	69	-95
7	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	heptano	9	98	-91
8	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	octano	18	126	-57
9	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	nonano	35	151	-54
10	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	decano	75	174	-30
11	C <sub>11</sub> H <sub>24</sub>	undecano		196	-26
12	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub>	dodecano		216	-10
20	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	eicosano	366319	334	+36
30	C <sub>30</sub> H <sub>62</sub>	tricontano	4.11x10 <sup>9</sup>	446	+66

Fuente: Nomenclatura de Alcanos (Organica)<sup>9</sup>

Los alcanos tienen la fórmula general C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>, donde n = 1,2,... La principal característica de las moléculas de los hidrocarburos alcanos es que sólo presentan enlaces covalentes sencillos. Los alcanos se conocen como hidrocarburos saturados porque contienen el número máximo de átomos de hidrógeno que pueden unirse con la cantidad de átomos de carbono presentes. Dos compuestos químicos diferentes, con la misma fórmula molecular, se denominan isómeros. El número de alcanos isoméricos aumenta proporcionalmente al número de átomos de carbono.

Otras de las fuentes de las cuales se puede obtener el gas metano, son las termitas, cuya voracidad en el consumo de madera como su principal fuente de alimentación, origina en su aparato digestivo la generación de Microorganismo, carbono y otros compuestos que facilitan la producción de dicho gas. Un aspecto importante de señalar, en cuanto a la utilización de las termitas en la generación

<sup>9</sup> Nomenclatura de Alcanos

<http://apuntesquimicaorganica.blogspot.com/p/nomenclatura-de-alcanos.html>

de gas metano, es que estos insectos son capaces de producir hasta 170,000,000 de toneladas anualmente.

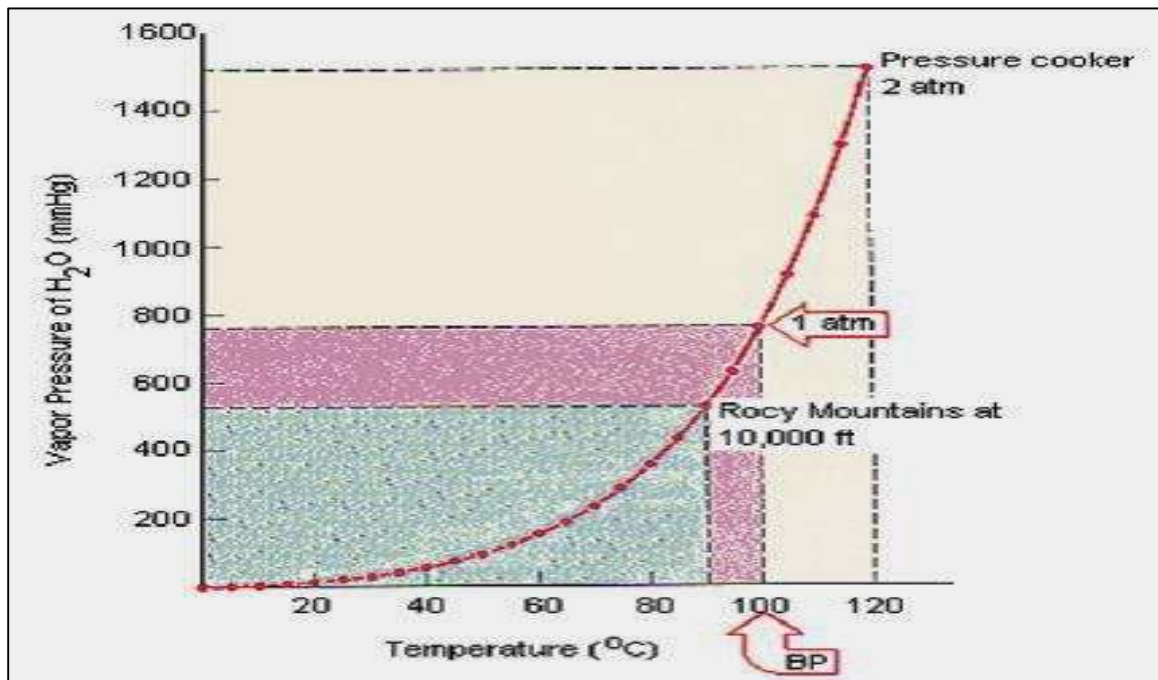
A escala comercial e industrial, el metano se obtiene del gas natural. El gas natural es una mezcla de metano, etano y una pequeña cantidad de propano. Es uno de los principales componentes de la atmósfera de los planetas Saturno, Urano y Neptuno. El metano es apreciado como combustible y para producir cloruro de hidrógeno, amoníaco, etino por mencionar algunos.

### **1.2.3. Tiempo de ebullición de agua.**

Cuando se calienta un líquido se logra alcanzar una temperatura, en la cual la presión del vapor es lo bastante grande, para que se formen burbujas dentro del cuerpo del líquido. Esta temperatura se llama punto de ebullición. Una vez que el líquido comience a hervir, la temperatura permanece constante hasta que todo el líquido se ha convertido en gas.

La figura 2 plantea la curva de temperatura de ebullición en la que un líquido alcanza su estado gaseoso, tomando como partida la temperatura de 100° C en la que se marca el punto de ebullición, cuando un líquido comienza a bullir, la curva es el resultado gráfico del incremento de temperatura, hasta llegar a hervir y de allí en adelante la temperatura dejara de elevarse y entrara en el proceso de ebullición.

**Figura 2. Curva de temperatura de ebullición**



Fuente: Temperatura crítica y presión (Jaramillo, 2007)<sup>10</sup>

La temperatura de ebullición es la temperatura a la cual un líquido pasa a gas a una determinada presión. Así por ejemplo, a presión atmosférica, el propano se vaporiza a partir de -44 °C, y el butano lo hace a 0 °C. Esto significa que el propano siempre vaporiza, incluso en las condiciones de temperatura exterior más extremas de nuestro país; en cambio, el butano no vaporiza cuando la temperatura exterior es de 0 °C o inferior, temperaturas que en algunas zonas son habituales en época invernal.

Barrera, establece que en Perú bajo sus condiciones experimentales a 1700m sobre el nivel del mar determina que “Para 5Lt de agua el tiempo de ebullición debe ser entre los 45 a 47 minutos” (Barrena, 2016) <sup>11</sup>

<sup>10</sup> Grafica de punto de ebullición notas físico-química.

<sup>11</sup> Rendimiento del biogas como combustible para cocina e iluminación

#### 1.2.4. Punto de inflamación.

El límite de inflamabilidad (LI), comprende un rango de valores, porcentaje de mezcla de un elemento oxidante, en la cual los vapores de productos inflamables pueden encenderse y mantener una combustión a cierta temperatura de ignición.

Existe un límite inferior de inflamabilidad (LII) debajo del cual la mezcla es muy pobre y no enciende. El otro límite es el superior, en el cual la mezcla es muy rica y no enciende. Fuera de estos límites, ya sea por encima o por debajo, la mezcla no enciende, ni existe la posibilidad de que se mantenga la combustión.

El resultado del combustible de un digestor tratando con un filtro de ácido sulfhídrico es metano, el metano como muestra la tabla 5 tiene apertura para cualquier condición en su punto de inflamación.

**Tabla 5. Punto de inflamación para algunos combustibles**

Combustible	Temperatura °C
ACPM	52
Aceite Lubricante	150
Aceite Mineral	190
Acetona	-17
Butano	Cualquiera
Combustible	93
Gasolina	-42
Metano	Cualquiera
Petróleo	Cualquiera
Propano	Cualquiera
Queroseno	42

Fuentes: Tema de seguridad industrial para especialistas. INDUPRESS Colombia 1998.

**Tabla 6. Límite de inflamabilidad LI de algunos combustibles**

Combustible	Límite Inferior (%)	Limite Superior (%)
Acetileno	2.0	81.0
Acetona	2.0	13.0
Alcohol etílico	4.0	19.0
Alcohol metílico	7.0	36.0
Butano	2.0	8.0
Gasolina de Motor	1.4	7.6
Hidrogeno	4.0	75.0
Metano	5.0	14.0
Monóxido de carbono	2.0	74.0
Petróleo crudo	2.0	10.0
Propano	2.0	10.0
Queroseno	1.0	5.0

Fuente Manual de Biodigestores (Moreno, 2011)

Un gas para arder, necesita que se le aplique una temperatura igual o superior a la homogénea con el oxígeno del aire en una determinada proporción. Esta proporción tiene unos límites inferior y superior, dentro de los cuales se produce la inflamación.

Se determinó que el “Requerimiento de aire mínimo para una combustión completa es del 21%, pero esta cifra debe ser aumentada para lograr óptima combustión” (Lira, 2016)<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales



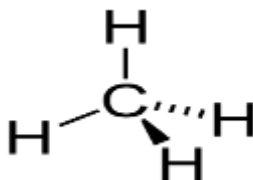
**Tabla 7. Límite mínimo y máximo de inflamabilidad**

Gas	Límite de Inflamabilidad	
	Inferior %	Superior %
Metano	5.00	15.00
Etano	3.22	12.45
Propano	3.37	9.50
Isobutano	1.80	8.44
Butano	1.86	8.41

Fuente Manual de Biodigestores (Moreno, 2011)

### **1.3. Propiedades químicas.**

El biogás es la combinación de muchos factores químicos pero el predominante es el gas Metano ( $\text{CH}_4$ ) la cual está compuesto por una molécula de carbono, y cuatro moléculas de hidrógenos, producto de la degradación química generada en el biodigestor, todos estos factores químicos intervienen en la formación y la calidad del gas que se genere para consumo, por ello se concluye que tantos los factores físicos como químicos son determinantes en la producción del biogás.



El metano es un ejemplo de compuesto molecular cuyas unidades básicas son grupos de átomos unidos entre sí, La forma general de la molécula es un tetraedro, una figura con cuatro caras triangulares idénticas, con un átomo de hidrógeno en cada vértice y el átomo de carbono en el centro.

**Tabla 8. Propiedades del biogas**

Propiedades Generales	
Nombre	Metano
<p>Estructura de Lewis:</p> <pre>       H             H-C-H               H           </pre>	
<p>Formula química:</p> <p>CH<sub>4</sub></p>	
<p>Peso Atómico:</p> <p>16.04 uma</p>	
<p>Otras Denominaciones: Gas de Pantano, hidruro de metilo</p>	
<p>Cambios de fase</p>	
<p>Punto de Fusión:</p> <p>90.6 K (-182.5°C)</p>	
<p>Punto de ebullición:</p> <p>111.55K (-161.6°C)</p>	
<p>Seguridad</p>	
<p>Efectos agudos: Asfixia en algunos casos, inconciencia, ataque cardiaco o lesiones cerebrales. Su exposición causaría la congelación.</p>	
<p>Temperatura de auto combustión:</p> <p>600°C</p>	

Fuente: Características Químicas (Moreno, 2011)<sup>13</sup>

## 2. Biodigestor instalado para obtención de biogás.

Fue seleccionado el biodigestor tubular de polietileno de baja densidad de 12 m<sup>3</sup>, semicontinuo flexible también llamado biodigestor familiares o de bajo costo, para lograr un rápido proceso en la producción de gas metano para el estudio, según Nectario Pantoja: “Los biodigestores de tipo tubulares o del tipo salchicha, son los más usados para el tratamiento de materia orgánica y obtención de gas, por sus procesos, fácil instalación y costo económico” (Pantoja, 2012)<sup>14</sup>

Se hace una fosa con un fondo completamente a nivel, lo más liso posible, de 1.20 metros de hondo y 2.20 metros de ancho, 4.50 metros de largo en cada extremo, 30 a 40 cm de ancho, para colocar los tubos terminales o canales que serán la entrada y salida del biodigestor.

**Tabla 9. Gasto de biogas en una cocina con un biodigestor de 12m<sup>3</sup>**

<b>Cálculo del gasto de biogás de un biodigestor de 12 m<sup>3</sup></b>		
Un Biodigestor de:	12,00	m <sup>3</sup>
Produce en m <sup>3</sup> de biogás	3,60	m <sup>3</sup>
Cocinando con un quemador	7,50	Horas
Cocinando con dos quemadores	3,75	Horas

Fuente: Empresa Tecnosol<sup>15</sup>

---

<sup>14</sup> Obtención de Biogas A partir de un biodigestor tipo Tubular

<sup>15</sup> Empresa Tecnosol  
[www.tecnosolsa.com.ni](http://www.tecnosolsa.com.ni)

### **2.1. Biodigestor continuo, tipo salchicha, familiares o de bajo costo.**

Los biodigestores tubular de polietileno de baja densidad, familiares de bajo costo han sido desarrollados y están ampliamente implementados en países del sureste asiático en Sudamérica; países como Cuba, Colombia, Brasil y Costa Rica tienen desarrollada esta tecnología. Estos modelos de biodigestores, contruidos a partir de polietileno tubular, se caracterizan por su bajo costo, fácil instalación y mantenimiento, así como por requerir sólo de materiales locales para su construcción.

Debido a la ausencia de oxígeno en el interior de la cámara hermética, las bacterias anaerobias contenidas en el propio estiércol comienzan a digerirlo. Primeramente se produce una fase de hidrólisis y fermentación, posteriormente una acetogénesis y finalmente la metalogénesis, por la cual se produce metano. El producto gaseoso llamado biogás, realmente tiene otros gases en su composición como son dióxido de carbono (20-40%), nitrógeno molecular (2-3%) y ácido sulfhídrico (0,5-2%), siendo el metano el más abundante con un 60-80%.

### **3. Prueba con biogás en la cocina industrial.**

Los cambios serán determinados en base a la observación del estado de la cocina, y estarán dirigidos a la habilitación de la cocina para su funcionamiento con biogas.

#### **3.1. Estado y habilitación de cocina Industrial.**

##### **Reporte de estado:**

La cocina se encontraba totalmente inhabilitada, según la responsable del comedor; componentes como válvulas de cierre y apertura originales dañadas, conector de admisión del gas dañado, quemadores u hornillas obstruidas por alto contenido de grasa.

**Figura 3. Cocina Industrial sin funcionar**



### **3.2. Propuesta de habilitación.**

**Paso 1.** Se observó y verifico los elementos de la cocina que fueron descartados para su cambio y poder ser reemplazados para el funcionamiento con biogás:

- 1- Válvula de cierre y apertura del gas.
- 2- Quemadores u hornillas de la cocina.
- 3- Acoples de las válvulas que conectan el quemador.

**Figura 4. Válvula de Cierre y Apertura Original**



Válvula de cierre y apertura del gas descartada. Fuente propia.

**Paso 2. Instalación de conectores y acoples en quemador principal**

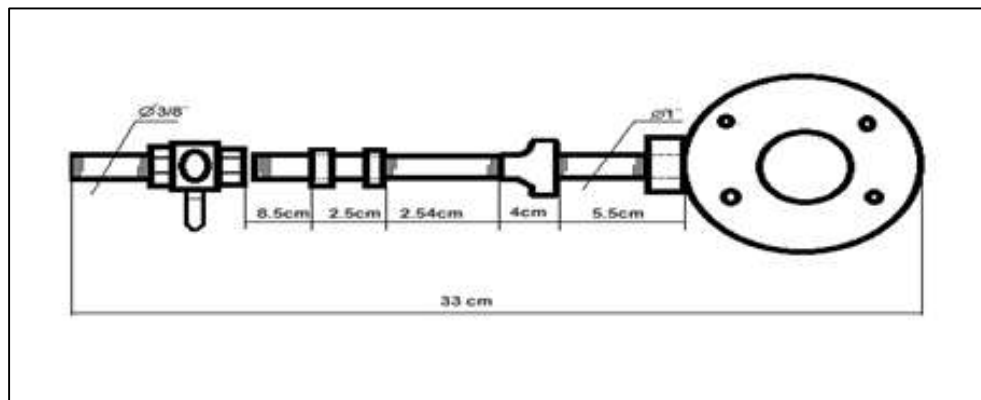
Se estableció que el quemador del lado izquierdo será tomado como quemador principal, porque su posición permite un mejor aprovechamiento de la admisión del biogas ya que está a poca distancia con respecto a la entrada del gas en la cocina.

**Elementos a utilizar:**

- 2 Niples rosca exterior a cada extremo de 1'' diámetro de 3/8''
- 1 válvula de cierre y apertura industrial 1/4''
- 1 Conector hilo interno de 1''
- 1 niple de 2''
- 1 Adaptador campana de 3/8'' a 1''
- 1 niple de 2'' de largo, con diámetro de 1''
- 1 Quemador u hornilla

Tomando en cuenta elementos como el tipo de material que puedan tener funcionamiento con el combustible alternativo que se usara en la cocina, la cual estará funcionando con biogas se presenta un pequeño esquema del acoplamiento de cada elemento que corresponden al quemador principal de la cocina.

**Figura 9. Acoplamiento quemador principal**



Esquema de acoplamiento quemador principal. Fuente propia

**Paso 3.** Instalación de conectores y acoples en quemador secundario.

Se denomina quemador secundario, al quemador del lado derecho, ya que por su posición la admisión del gas a medida que pasa el tiempo disminuye ya que la presión del biodigestor se va reduciendo conforme el consumo del gas avanza.

**Elementos a utilizar:**

1 quemador u hornilla.

1 tubo de 3'' de largo y 1/2'' de diámetro hilo externo

1 mufa con conector hilo interno para conexión de válvulas de cierre y apertura de cocinas industriales.

2 válvulas de cierre y apertura

2 salidas de conexión a mufas (tomadas de las válvulas de cierre y apertura originales de la cocina).

2 Niples de 1'' de diámetro 3/8''

Este acoplamiento fue más sencillo aunque se trabajaron los dos conectores de mufa originales de la cocina para adaptarlos a la válvulas de cierre y apertura del gas, se taladraron para dar mayor diámetro de salida del gas en dichos conectores originales.

**Figura 10. Apertura de mayor diámetro en conector de mufa original**



Taladrado de conector de mufa fuente propia.

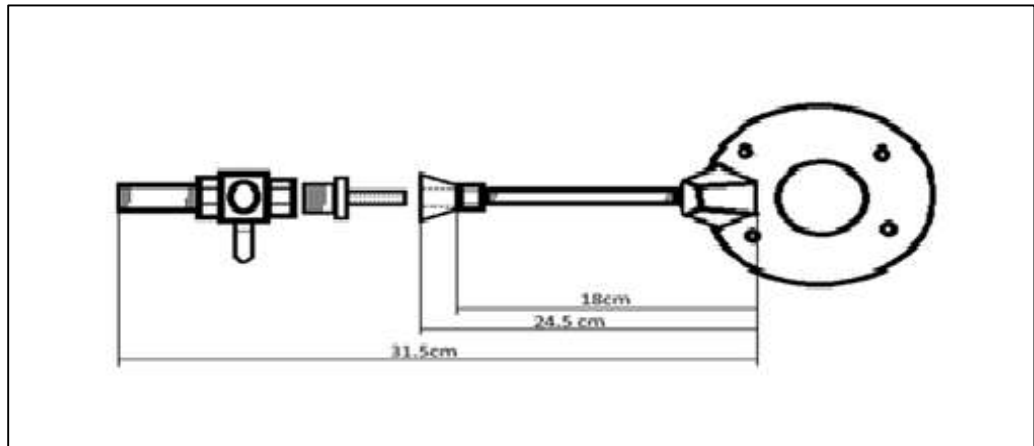
**Figura 11. Diámetro acabado**



Muestra mayor diámetro de salida de gas en conector Original de mufa fuente Propia.



**Figura 12. Acoplamiento del quemador secundario**

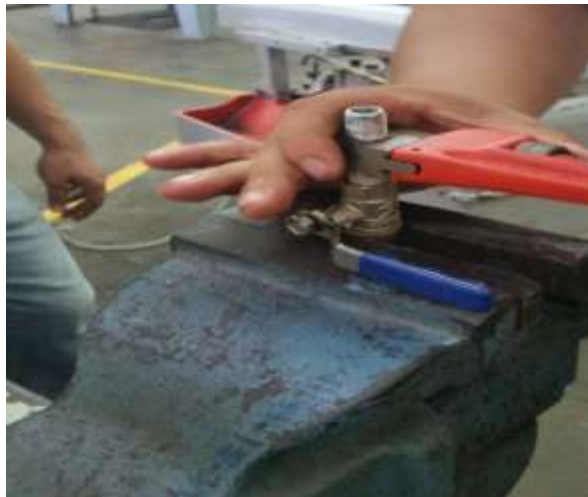


Acoplamiento del quemador secundario fuente propia.

**Paso 4. Conexión de los elementos cambiados**

Basado en los esquemas de acoplamientos de cada uno de los quemadores u hornillas de la cocina se procede a conectarlos siempre tomando en cuenta los parámetros de seguridad y descarte de posibles fugas.

**Figura 13. Acoplamiento de los elementos de manera física**



Colocación de niple para conexión. Fuente propia.

**Figura 14. Esmerilado conector de mufa original después de taladrarlo**



Esmerilado de conector de Mufa para salida de gas al quemador fuente propia.

**Figura 15. Colocación de Válvulas en la cocina industrial**



Colocación de quemador principal Fuente propia.

**Figura 16. Instalación de Válvulas quemador secundario**



Colocación de válvulas en quemador secundario. Fuente propia.

**Figura 17. Verificación de Distancia quemador secundario**



Conexión de válvulas para quemador secundario. Fuente propia.

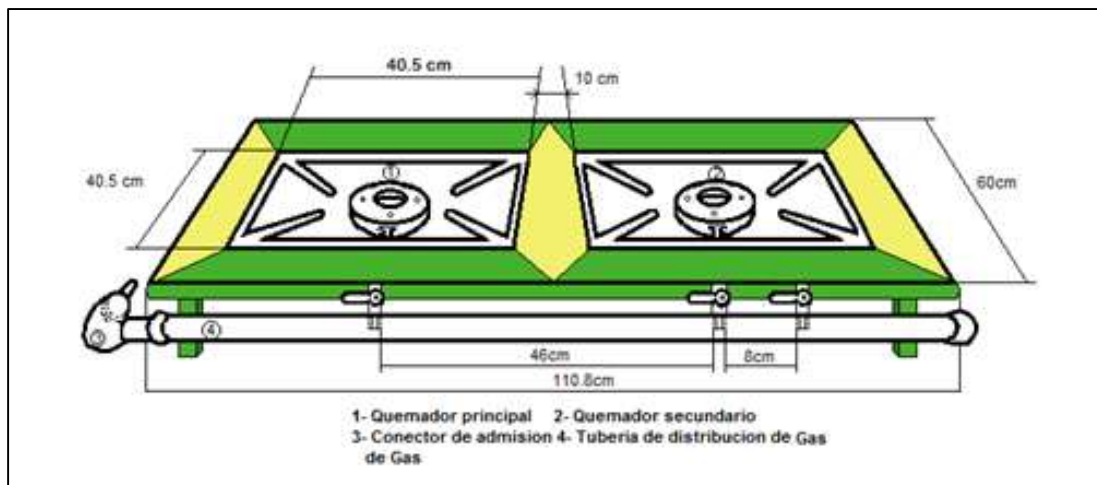
### 3.3. Adaptación de cocina Industrial de GLP a Biogás.

Para la adaptación de la cocina industrial se toma como eje principal los cambios que se realizaron en la cocina para su habitación, los cuales son parte de los cambios de adaptación de la cocina.

Cambios realizados:

- Cambio de quemadores u hornillas.
- El quemador principal estará compuesto por elementos conectados de forma fija, solo podrán ser quitados con herramientas.
- El quemador secundario colocado de forma movable, de fácil manipulación, compuesto por un quemador de cocina industrial artesanal de las que hacen en el país.
- Las salidas de las válvulas de cierre y apertura originales están adaptadas en las dos válvulas colocadas en el tubo de distribución del gas.

**Figura 18. Diseño Acabado Cocina Industrial**

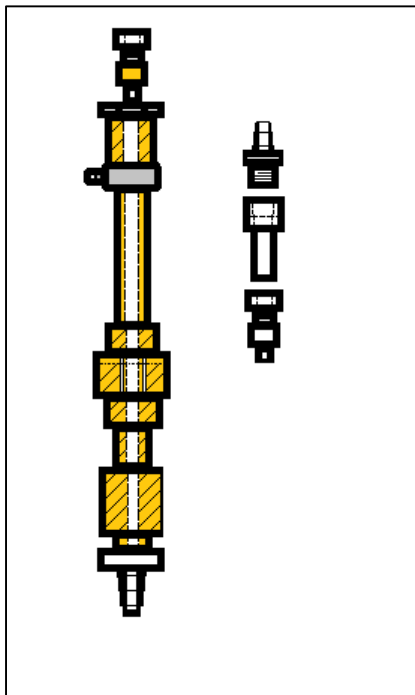


Diseño partes de la cocina industrial fuente propia.

- Colocación de filtro para ácido sulfhídrico y adaptación de salida para manguera de gas de ½" la que ira instalada hasta el conector de admisión de Gas de la cocina industrial.

Se colocó en el biodigestor el filtro para retener la mayor cantidad de ácido sulfhídrico ya que este puede dañar los elementos que componen la cocina y la tubería de distribución del gas, este filtro se adaptó para colocarle una manguera de gas de medida de  $\frac{1}{2}$ '' para eso se utilizó:

**Figura 19. Filtro Ácido sulfhídrico**



Filtro y adaptador para manguera de gas de  $\frac{1}{2}$ '' fuente propia.

### **3.3.1. Equipamiento a utilizar.**

**Para adaptar quemadores. Herramientas utilizadas:**

1. Llaves Stillson.
2. Cierras para corte.
3. Llave crecen.
4. Esmeriladora de banco.
5. Taladro de banco.

### **Para adaptación de Filtro. Herramientas utilizadas:**

1. Destornillador de copa.
2. Llave crecen.
3. 1/8 de pegamento PVC.
4. Teflón.
5. Cierra para corte.
6. Destornillador plano.

### **Acabado y pintura de la cocina Industrial.**

- 1- Lijas
- 2- Masking tape.
- 3- Pintura (según los criterios industriales se seleccionó el color verde industrial y el amarillo paja suave como los colores de pintura en la cocina)
- 4- Paper cutter.

## **3.4. Pruebas.**

### **3.4.1. Prueba de descarte de Fugas**

Una vez probado el funcionamiento de la cocina se realizó en el taller de máquinas herramientas la prueba de descarte de fugas tomando los siguientes criterios:

- 1- Se verifico que el taller estuviera bien ventilado y que no hubiese nada que pueda provocar una chispa mientras se realiza la prueba.
- 2- En un recipiente con agua se mezcló detergente para lavar ropa y así formar espuma.
- 3- Se presurizo el sistema (abriendo la válvula del gas butano),
- 4- Con un trapo se coloca espuma en las partes de conexiones de los quemadores y entradas de gas.



**Figura 20. Descarte de fuga**



Descarte de fugas fuente propia.

**Figura 21. Funcionamiento de quemadores**



Funcionamiento de los acoples en los quemadores

### **3.4.2. Prueba de Encendido de la cocina, utilizando Biogas; con un quemador y con los dos quemadores.**

Al descartar las posibles fugas se realizó la prueba de encendido de la cocina usando biogas.

**Figura 22. Quemador principal encendido**



Llama en un solo quemador fuente propia

**Figura 23. Ambos quemadores encendido usando biogas**



Quemador principal y quemador secundario funcionando fuente propia



### **3.4.3. Pruebas para análisis estadísticos.**

Instrumentos para recolección de datos utilizados: Cronometro y Pistola de Temperatura laser, recipiente graduado para medir los litros de agua, dos ollas de acero.

Durante 3 días se realizó la recolección de resultados con respecto al tiempo final y temperatura final en la que 5 litros de agua lograban bullir estableciendo las siguientes condiciones:

1. Se logra bullir el agua cuando se da la primera burbuja o burbujas del hervor.
2. Para cada temperatura final de ebullición existía un tiempo final de ebullición.
3. El cronometro iniciaba su conteo en los tres días cuando la temperatura inicial del agua estaba en 33°C.
4. Cada día se tomarán cuatro muestras, utilizando en la cocina tanto biogas como gas licuado de petróleo (GLP).
5. Se recolectaron los datos en horas de la mañana de 8:30 am a 10:50 am
6. La recolección de datos se dio en Managua, Nicaragua con una altitud mínima de 43m sobre el nivel del mar, y una altitud máxima de 700m sobre el nivel del mar, en el comedor de la Universidad Nacional de Ingeniería UNI-RUPAP, dentro del área de cocina del comedor sin contacto con efectos exteriores del ambiente.

## **3.5. Resultados.**

### **3.5.1. Prueba de descarte de Fugas**

Los resultados que se obtuvieron garantizan el 100% de seguridad ya que al realizar la prueba no se notó ningún tipo de fuga ni olor en cada una de las conexiones realizadas.

### **3.5.2. Prueba de Encendido de la cocina, utilizando Biogas; con un quemador y con los dos quemadores.**

Los resultados fueron positivos, se notó la llama azulada característica propia del biogas, una presión de trabajo optima utilizando los dos quemadores; aunque el tiempo de uso con una llama constante usando los dos quemadores se reduce, tomando en cuenta que ambos estén encendidos, y que la apertura de válvulas de gas sean iguales para ambos, el tiempo de trabajo mínimo es de 30 minutos en funciones, y con un solo quemador dura 3 horas mínimo en uso.

### **3.5.3. Pruebas para análisis estadísticos.**

Los resultados en base a la recolección de datos fueron realizados según lo planteado serán analizados en la sección de análisis de resultado.

**Figura 24. Recipiente graduado**



Recipiente graduado. Fuente propia.

Se recolecto datos de temperatura final y tiempo final de ebullición. En tres días consecutivos se realizaron cuatro muestras de cada prueba.

**Figura 25. Pistola Laser para medir temperatura**



Termómetro señalando la temperatura inicial seleccionada 33°C para iniciar a correr cronometro.

Se notó una diferencia al realizar el cambio de combustible y colocar el tanque de gas licuado de petróleo (GLP) en el tipo de llama y la presencia de hollín en la olla.

**Figura 26. Cocina encendida usando GLP**



Cocina usando GLP fuente propia.

**Figura 27. Olla utilizada para experimentos**



Olla con hollín por combustión con GLP Fuente propia.

Una vez realizadas las pruebas se probó el encendido de ambos quemadores usando el GLP los resultados se aprecian en la imagen de la Figura 28, que demuestra una llama constante la cual es generada por la presión del tanque de gas, pero siempre manchando la olla con hollín.

**Figura 28. Cocina encendida ambos quemadores con GLP**



Prueba con GLP para encendido en dos quemadores fuente propia.

#### **4. Análisis de los resultados.**

##### **4.1. Análisis con respecto a la Temperatura Final (TF) de ebullición de los Gases.**

Según experimento empleamos, el diseño factorial de dos factores, partiendo que este diseño es completamente aleatorizado con respecto a todas las combinaciones de tratamiento.

**Tabla 10. Tabla de factores del experimento con valores en Temperatura Final TF.**

Factor A	Factor B TPC (Tipos de Combustibles)				Yi
	Biogás TF °C		GLP TF °C		
Días					
1	68.5	244.7	89.6	294.6	539.3
	60.6		69.0		
	59.0		67.0		
	56.6		69.0		
2	64.9	243	68.5	271.2	514.2
	59.4		68.8		
	58.1		66.0		
	60.6		67.9		
3	64.0	241.3	68.0	264.2	505.5
	58.7		66.5		
	59.9		66.0		
	58.7		63.7		
Yj	729		830		Y= 1559

**El Factor A** = Los días teniendo tres niveles de factor (día 1, día 2, día 3).

**El Factor B**= Tipos de combustibles (TPC) con solo 2 niveles de factor que se llamasen Biogás, Gas Licuado de Petróleo GLP.

La **variable de respuesta** es la **Temperatura Final** en que el agua tarda en bullir teniendo en cuenta que es cuando salga la primera burbuja del hervor.

**Hipótesis del Experimento.**

**Como primera hipótesis se tiene que el efecto del Biogás y el efecto del GLP son iguales a "0"**

**Ho=  $\tau_1 = \tau_2 = 0$**

**$\tau_1$**  = efecto del biogás

**$\tau_2$**  = efecto del GLP

**Como segunda hipótesis el efecto de los diferentes días es iguales a "0"**

**Ho=  $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$**

**$\beta_1$** = efecto Día 1

$\beta_2$ = efecto Día 2

$\beta_3$ = efecto Día 3

Como tercera hipótesis se obtiene que la interacción del gas GLP y el Biogás con respecto a la Temperatura Final TF sea al menos una sea diferente de "0"

$H_1$ = al menos uno  $(\tau\beta) \neq 0$

Por tanto se define en el experimento la ecuación Modelo

$$Y = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

**Figura 29. Tabla ANOVA**

Tabla 5-3 La tabla del análisis de varianza para el diseño factorial de dos factores, modelo con efectos fijos				
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	$F_0$
Tratamientos $A$	$SS_A$	$a - 1$	$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
Tratamientos $B$	$SS_B$	$b - 1$	$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
Interacción	$SS_{AB}$	$(a - 1)(b - 1)$	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a - 1)(b - 1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	$SS_E$	$ab(n - 1)$	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n - 1)}$	
Total	$SS_T$	$abn - 1$		

Fuente: Tabla ANOVA (Montgomery, 2004)<sup>16</sup>

$$SST = 1,034.05$$

$$SS(TPC) = 77.0058$$

$$SS \text{ temperatura final} = 425.041$$

$$SS \text{ interacción} = 51.16$$

<sup>16</sup> Montgomery análisis de experimento tabla ANOVA.

**Figura 30. Análisis de datos para Temperatura Final programa Statgraphics**

Análisis de Varianza para TF - Suma de Cuadrados Tipo III					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:DIAS	77,0058	2	38,5029	1,44	0,2627
B:TPC	425,042	1	425,042	15,91	0,0009
INTERACCIONES					
AB	51,1658	2	25,5829	0,96	0,4025
RESIDUOS	480,845	18	26,7136		
TOTAL (CORREGIDO)	1034,06	23			
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual					

Fuente: Corrida del programa Statgraphics.

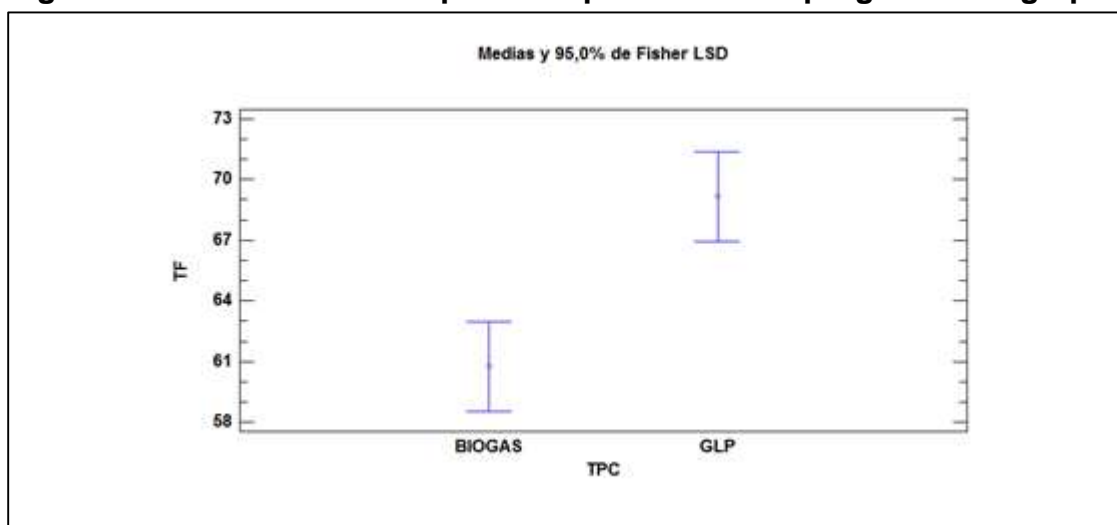
Según la tabla ANOVA se determina que existe un efecto significativo sobre la Temperatura Final de ebullición que corresponde al Factor de los Tipos de Combustibles (TPC) ya que su valor P es menor a 0.05.

Por tanto se concluye que el Biogás muestra un efecto significativo con respecto a la Temperatura Final (TF) ya que para alcanzar la ebullición se necesita menor temperatura que la que se requiere para el GLP.

Por tanto estudiaremos del factor significativo, quien establece la diferencia, usando prueba de Duncan, grafico LSD de Fisher y gráficos de intervalos de confianza.



**Figura 31. Gráfico de Fisher para Temperatura Final programa Statgraphics**

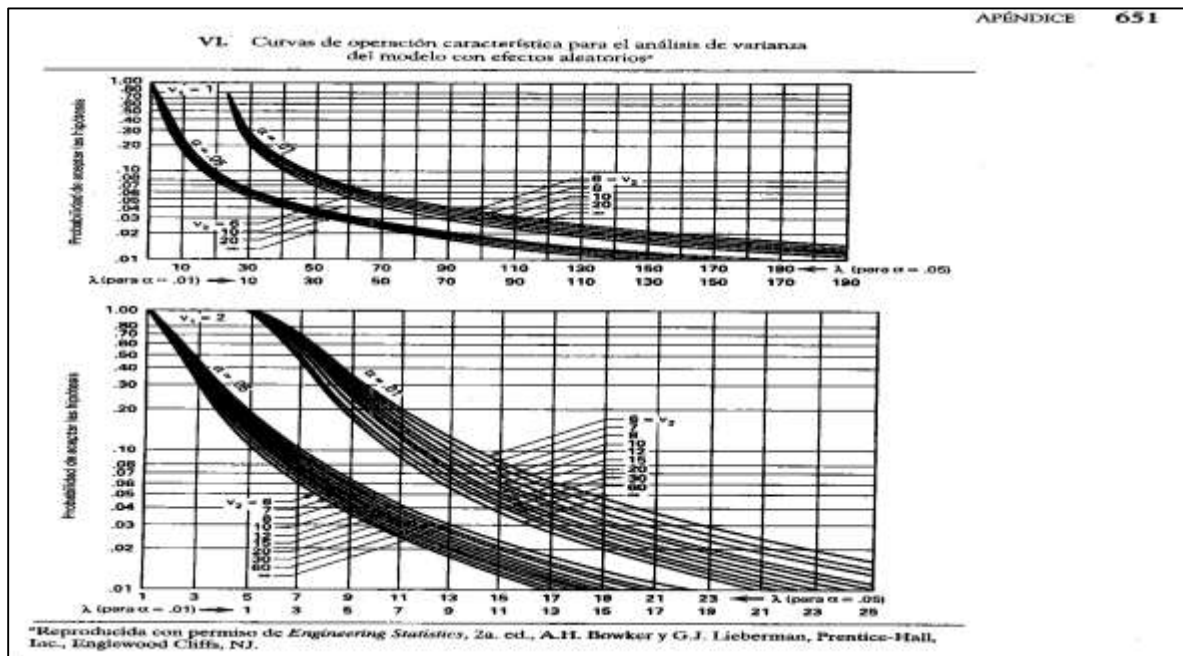


Fuente: Corrida del programa Statgraphics

### **Selección del tamaño de la muestra**

Para determinar el tamaño apropiado de la muestra, se toma apoyo de las curvas y de la tabla que a continuación se muestra.

**Figura 32. Curvas para análisis de Varianza**



Fuente: Apéndice 651 Diseño y Análisis de Experimento (Montgomery, 2004)

**Figura 33. Modelo para diseño factorial**

**Tabla 5-7** Parámetros de la curva de operación característica de la parte V del apéndice para el diseño factorial de dos factores, modelo con efectos fijos

Factor	$\Phi^2$	Grados de libertad del numerador	Grados de libertad del denominador
A	$\frac{bn \sum_{i=1}^a \tau_i^2}{a\sigma^2}$	$a - 1$	$ab(n - 1)$
B	$\frac{an \sum_{j=1}^b \beta_j^2}{b\sigma^2}$	$b - 1$	$ab(n - 1)$
AB	$\frac{n \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\tau\beta)_{ij}^2}{\sigma^2[(a - 1)(b - 1) + 1]}$	$(a - 1)(b - 1)$	$ab(n - 1)$

Fuente: tabla 5-7 Diseño y Análisis de Experimento (Montgomery, 2004).

Utilizando la información de la figura 33. Se establece los parámetros a tomar en cuenta para la selección de muestra como aparece en la siguiente figura.

**Figura 34. Tabla de  $\beta$  (riesgo por selección de muestra)**

$n$	$\Phi^2$	$\Phi$	$v_1$ = Grados de libertad del numerador	$v_2$ = Grados de libertad del error	$\beta$
2	2.56	1.60	2	9	0.45
3	3.84	1.96	2	18	0.18
4	5.12	2.26	2	27	0.06

Fuente: Diseño y Análisis de Experimento (Montgomery, 2004).

Si se tiene  $n=4$  muestras,  $\beta$  que es el riesgo tiene un valor 0.06 se trabaja con una probabilidad del 94%, por lo tanto se concluye que cuatro réplicas bastan para mi interés, ya que esperaba una probabilidad del 95%, pero este porcentaje es aceptable, para probar si existe efecto significativo con respecto al factor del tipo de combustibles y su temperatura final para bullir el agua.

#### 4.2. Análisis con respecto a la Tiempo Final (TMF) de ebullición de los Gases.

**Tabla 11. Tabla de factores del experimento con valores en el Tiempo Final TMF**

Factor A	Factor B TPC (Tipos de Combustibles)				Yi
	Biogás TMF		GLP TMF		
Días					
1	935	4522.4	1200	4505.4	9027.8
	907.2		986.4		
	1096.2		1129		
	1584		1190		
2	855	4353.6	875.4	3695.4	8049
	934.8		918		
	1148.4		950		
	1415.4		952		
3	868.8	4536	873	3634.2	8170.2
	967.8		986.4		
	1217.4		874.2		
	1482		900.6		
Yj	13412		11835		Y= 25247

**El Factor A** = Los días teniendo tres niveles de factor (día 1, día 2, día 3)

**El Factor B**= Tipos de combustibles (TPC) con solo 2 niveles de factor que se llamen Biogás, Gas Licuado de Petróleo GLP

Esta variable de respuesta es el **Tiempo Final TMF** en que el agua tarda en bullir teniendo en cuenta que será cuando salga la primera burbuja del hervor.

**Hipótesis del Experimento.**

Como primera hipótesis se tiene que el efecto del Biogás y el efecto del GLP son iguales a "0"

$H_0 = \tau_1 = \tau_2 = 0$

$\tau_1$  = efecto del biogás

$\tau_2$  = efecto del GLP

Como segunda hipótesis se obtiene que el efecto de los diferentes días son iguales a "0"

$H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$

$\beta_1$  = efecto Día 1

$\beta_2$  = efecto Día 2

$\beta_3$  = efecto Día 3

Como tercera hipótesis la interacción del gas GLP y el Biogás con respecto a la Tiempo Final TMF es que al menos una sea diferente de "0"

$H_1 =$  al menos uno  $(\tau\beta) \neq 0$

Por tanto se define en el experimento la ecuación Modelo

$Y = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$

Tomando el modelo planteado en la figura 29, se establece el mismo planteamiento para realizar el análisis de variancia, esta vez tomando como variable resultado, al Tiempo Final TMF en que tarda en bullir el agua.

$SST = 1,034.05$

$SS(TPC) = 77.0058$

$SS \text{ temperatura final} = 425.041$

$SS \text{ interacción} = 51.1$

**Figura 35. Análisis de datos para Tiempo Final programa Statgraphics**

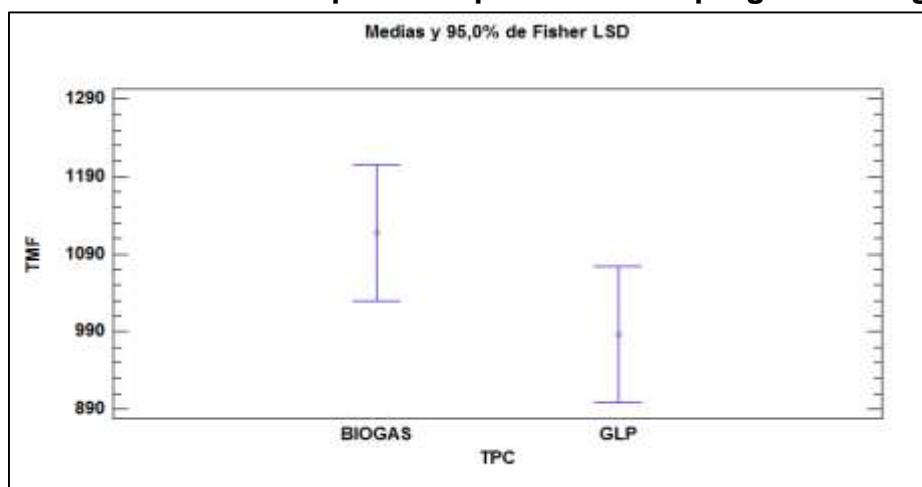
Análisis de Varianza para TMF - Suma de Cuadrados Tipo III					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:DIAS	71175,7	2	35587,8	0,85	0,4127
B:TPC	103622,	1	103622,	2,48	0,1125
<b>INTERACCIONES</b>					
AB	52222,9	2	26111,4	0,63	0,5461
RESIDUOS	751026,	18	41723,7		
TOTAL (CORREGIDO)	978347,	23			
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual					

Fuente: Corrida del programa Statgraphics.

Según la tabla ANOVA se determina que no existe un efecto significativo sobre el Tiempo Final TMF de ebullición que corresponde al Factor de los Tipos de Combustibles (TPC) ya que ningún valor de P es menor a 0.05.

Por consiguientes se concluye que el Biogás no muestra un efecto significativo con respecto a la Tiempo Final (TMF) ya que para alcanzar la ebullición necesitamos prolongar el tiempo que la que requerimos con el GLP.

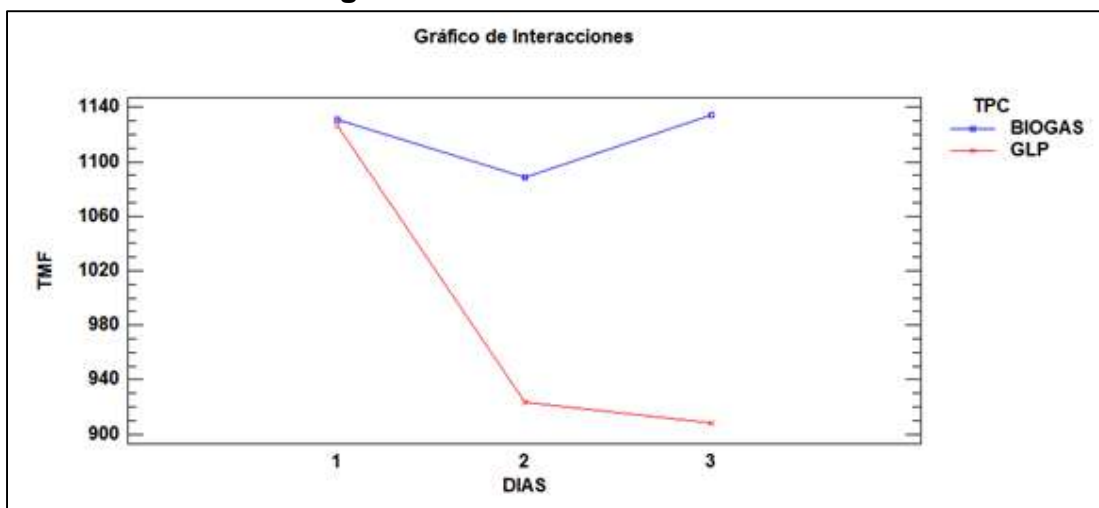
**Figura 36. Gráfico de Fisher para Temperatura Final programa Statgraphics**



Fuente: Corrida del programa Statgraphics.

También se determinó que el primer día tanto el GLP como el Biogas requirieron prolongar el tiempo para alcanzar la ebullición según la gráfica de interacción.

**Figura 37. Gráfico de interacción**



Fuente: Corrida del programa Statgraphics.

### **Selección del tamaño de la muestra**

Para determinar el tamaño apropiado de la muestra me auxiliare de las curvas y de la tabla ya plasmadas en las figuras 32, 33 y 34.

Basados en la selección de muestra anterior que correspondía al Tiempo final TF ya que lo que se analizó, si existe interacción también con respecto al Tiempo Final TMF por tanto se toma igual número de réplicas.

Si se tiene  $n=$  cuatro muestras,  $\beta$  que es el riesgo tiene un valor 0.06 se trabaja con una probabilidad del 94%, por lo tanto se concluye que cuatro réplicas bastan para probar si existe efecto significativo con respecto al factor del tipo de combustibles y el tiempo final para bullir el agua.



### **Conclusiones**

- 1- Los cambios generados para habilitar y adaptar la cocina, fueron positivos, las válvulas de cierre y apertura instaladas con la adaptación de los conectores de mufa originales que salen al quemador respondieron de la mejor manera en el funcionamiento de la cocina, los quemadores responden de forma correcta al encendido, se descarta totalmente las fugas que podrían haber existido por los diferentes acoples en el sistema de distribución de gas.
- 2- Existe un efecto significativo estadístico sobre la Temperatura Final TF de ebullición con respecto a ambos combustibles, por tanto el biogas con una temperatura menor que la del GLP alcanza bullir el agua con mayor rapidez.
- 3- No existe efecto significativo estadístico con respecto al Tiempo Final TMF en que el agua tarda en bullir, en el primer día ambos combustibles, prolongan más el tiempo para bullir el agua, mientras que en los dos días siguientes fueron casi similares.

## Bibliografía

- Barrena, M. (2016). Rendimiento del biogas como combustible para cocina e iluminación. *INDES*, 121.
- FAO. (2017). *Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM)*. Recuperado el 7 de noviembre de 2017, de GLEAM 2.0 – Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y su potencial de mitigación: <http://www.fao.org/gleam/results/es/>
- Instituto Nacional de Investigacion y Tecnologia. (1985). *PNABC661.pdf*. Recuperado el 2 de Noviembre de 2007, de PNABC661.pdf: [http://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PNABC661.pdf](http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABC661.pdf)
- Jaramillo, O. (25 de 04 de 2007). *www.cie.unam.mx*. Recuperado el 6 de 11 de 2017, de *www.cie.unam.mx*: <http://www.cie.unam.mx>
- Larico, P. B. (2013). COMBUSTIBLE BIOGAS A UN CALDERO DE GLP/GAS NATURAL . *Simpósio Peruano de Energía Solar y del Ambiente*, (pág. 4). Arequipa Peru.
- Lira, G. J. (2016). Analisis de Eficiencia de combustion en un quemador Boliviano. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 95.
- Lira, G. J. (2016). Analisis de la eficiencia de la combustion del biogas en un quemador Boliviano. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 95.
- Montgomery. (2004). *Diseño y Analisis de Experimento*. Mexico: Limusa Wiley.
- Moreno, M. T. (2011). *Manual de Biodigestores* . Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32.
- Organica, Q. (s.f.). *Nomenclatura de Alcanos*. Recuperado el 2 de Noviembre de 2017, de quimica organica : <http://apuntesquimicaorganica.blogspot.com/p/nomenclatura-de-alcanos.html>
- Pantoja, N. A. (2012). Obtencion de Biogas Apartir de un biodigestor tipo Tubular. *La Investigacion al Centro*, 381.
- Roos, K. (2004). *A manual for developing biogas*. Estados Unidos: AgSTAR Handbook.
- Sampieri, R. H. (2010). *Metodologia de la Investigacion* . Mexico: Mc. Grow hill.
- X., J. (2011). *A Review of the Biogas Industry in China*. China: Energ. Policy.
- Arias, A, Bogotá, Biocombustible: el nuevo yacimiento colombiano. Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural república de Colombia, 2007.

Transformación de la energía. Fuentes de energía I.E.S Antonio Gonzales Gonzales.

Manual de Biocombustibles Federico Ganduglia – IICA 2009

Can Biomass Power Development, Keith Opeshaw, 2010.

Manual de Biogás, MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF, Chile, 2011.

Biomasa: Digestores anaerobios, BESEL, S.A. (Departamento de Energía), Madrid 2007.